第七章　如何控制堆肥品質

謝欽城

國立屏東科技大學教授

一、前言

本省農業為了因應轉型的需要，使用有機質肥料代替化學肥料，已漸受農民的重視，但目前有機質肥料處理中心有公、民營多處，然為著使農業永續經營，應使有機質肥料場之產品品質穩定且衛生，故於製造過程中，應注意堆肥品質的控制，以使產品不會對於農業或環境造成二次污染。

二、有機物堆肥化處理之原理與條件

(一)堆肥化之原理

農產廢棄物皆以有機物為主，然於本省目前情況以畜禽排泄物較多，故現以畜禽糞為例，說明堆肥化之原理，畜禽糞堆肥化發酵處理是利用畜禽糞中之微生物活動，分解畜禽糞中之有機物，同時由於有機物的分解，產生熱量，促進材料之腐熟與水分蒸發。

畜禽糞之發酵處理，可分為好氣性與厭氣性兩種，厭氣性發酵時，腐熟分解慢，發酵的溫度介於 38 ℃ ~ 55 ℃ ，且大腸菌與病原菌滅死困難，尤其於發酵過程中容易產生惡臭，一般於應用上不太適當。好氣性發酵是屬於一種高溫發酵，故腐熟分解時間短，且不容易產生惡臭，尤其是大腸菌、

寄生蟲卵及雜草種子滅死容易，故此種處理方式，可生產衛生且穩定的堆肥。

於畜禽糞堆肥化發酵處理時，最重要的是好氣性微生物於材料內，能產生均勻性的活動，才能生產出品質均一的堆肥，然要使微生物活動能活躍，必需使原料的含水率、通風及攪拌適當。利用脫水或添加木屑、粗慷、及完熟堆肥等方法來調整材料的水分，使原料形成膨鬆狀態，材料中的空隙率增加，以便能達到良好通氣的效果。通風與攪拌可使原料內部微生物的繁殖活躍，以便進行好氣性發酵處理，縮短堆肥化所需要的時間。

畜禽糞堆肥化發酵處理時，由於原料中有機物分解所產生的熱量，將使原料的溫度上昇與水分蒸發，然而原料所蒸發的水分，如其周圍環境，不能使其去除時，將使水分蒸發的效果降低，故為了能促進水分的蒸發，最有效的方法，是於原料中供給新鮮的空氣，此種方式將能獲得促進有機物的分解，而產生較大量的熱能，且又能促進水分的蒸發，以便能提高乾燥的效果，堆肥化發酵處理之化學反應式如式 (1) 所示：其中生成堆肥 $C_wH_xN_yO_z \cdot cH_2O$ 與堆肥原料 $C_sH_tN_uO_x \cdot aH_2O$ 之比約 $0.3 \sim 0.5$，$W = 5 \sim 10$，$X = 7 \sim 17$，$y = 1$，$z = 2 \sim 8$，堆肥化發酵處理的條件相當的複雜，一般好氣性發酵處理之必要條件為空氣、含水率、 pH 值、溫度、營養源。

$$C_sH_tN_uO_x.\ aH_2O + bO_2 \longrightarrow C_wH_xN_yO_z.\ cH_2O + dH_2O + eH_2O + f\,CO_2 + gNH_3 \quad (1)$$

材料 堆肥

(二)堆肥化之條件

一般堆肥化處理時，由於好氣性微生物使畜禽糞等之堆肥原料產生分解、腐熟作用，於分解腐熟過程，將原料中對於作物的有害作用的物質除去或減少，並使原料的物性產生變化，故於田間施肥能獲得使用時較容易的效果，尤其是堆肥的品質能獲得均一。又由於一般好氣性為高溫發酵，將使病原菌及雜草種子死滅。

一般堆肥化發酵處理之條件為 (1) 營養源 (2) 溫度 (3) 含水率 (4) 空氣等四項，一般 (1)~(3) 為與厭氣性發酵共通的條件。如不通風時，其發酵將為厭氣性發酵。厭氣性發酵時，原料中有機物的分解速度顯著的降低，又產生惡臭及品質不均一等問題出現。

1. 營養源

畜禽糞中含有畜禽未消化吸收的營養物，其可當為微生物的最適營養源，然於排泄時，排泄物含有各種微生物，故不需添加微生物。 排泄物是由水分與乾物質構成，又乾物質是由有機物與灰分而構成，有機物中又分為易分解性物質與難分解性物質，於堆肥化發酵處理時，最主要是由於微生物的作用，使易分解性有機物產生分解，且於分解過程，會產生熱量來促進堆肥腐熟與水分的蒸發。

(1) 有機物分解時所產生的熱量

就畜產養殖而言，由於畜種及飼料不同，所排糞便有機物成分就有差異，每公斤有機物所產生之熱量在室內實驗結果，如表一所示 （檜垣繁光， 1987） 。事實上無法明確定出有機物發酵熱值，一般畜糞可以 4500 Kcal/kg ，調整材以 3000 ~ 4000 Kcal/kg 來做為發酵設施處理量估算之依據。又每公斤水分蒸發所須能量，理論上須 600 Kcal/kg ，但堆肥處理過程中，因材料溫度上升、通風空氣溫度上升、發酵槽壁熱損失、有機物分解使水分蒸發等,所需熱量全由有機物分解熱來分擔，從實驗結果推知，開放型設施每公斤水分蒸發量約須 900 Kcal ，絕熱較好的密閉型設施可以 800 Kcal 來計算。

表一、禽畜糞乾物熱值

畜種	糞的種類	含水率 (%)	熱值 Kcal	乾物減量 (%)	熱值/乾物減量 Kcal/減量 1 kg
雞	雛雞糞	68.0	3,239	73.4	4,412
	成雞糞(堆積 1 個月)	73.4	2,786	67.8	4,109
	成雞新鮮糞	74.2	3,095	70.0	4,421
豬	仔豬新鮮糞	69.5	4,081	80.2	5,088
	成豬糞(肥育)	73.0	4,105	67.5	6,081
	成豬糞(種豬)	76.7	2,723	80.2	3,395
牛	乳牛糞(成牛)	85.5	3,536	76.5	4,622
	(肥育)	87.5	3,154	79.4	3,972
	(小牛)	80.2	2,700	85.3	3,165

(2) 有機物分解率

有機物分解率是微生物生長活性的參考指標之一，

它與處理停留時間、處理前後含水率變化及處理量的計算有密切關係，而畜糞依畜種和處理方式之不同，其有機物分解率為 20 ~ 55 %（沈韶儀， 1992），因此在堆肥設施規模計算上是一重要的設計因子。其計算公式如下:

有機物分解率 (%) = (處理期間乾物減少量/處理前總乾物重) × 100

每日平均分解率 (%) = (乾物分解率/處理日數) × 100

一般在實驗規劃時可利用日本的經驗公式計算出有機物分解率，由堆肥材料性質，有下列兩公式供參考:

(1) 添加木屑調整材

$$\log(Y - 0.2Y_0) = \log 0.8Y_0 - 0.005X$$

(2) 畜糞

$$\log(Y - 0.2Y_0) = \log 0.8Y_0 - 0.015X$$

Y: 乾物重 (kg) 。 Y_0: 初期乾物重 （假設 100 kg） 。
X: 處理時間 （日） 。

2. 溫度

微生物於攝取 C 與 N 之生長增殖之際，由於細胞中所攝取物質進行生化反應而產生熱量，發酵開始時，以代謝（物質之合成、分解作用)為主之生長最適溫度為 20 ~ 45 ℃之中溫細菌進行繁殖，又由於中溫細菌之活動，使發酵溫度

慢慢的上昇，而後發酵溫度上昇至生長最適溫度之 45 ~ 60 ℃ 高溫菌進行繁殖，最後溫度將上昇 60 ~ 70 ℃ 以上進行發酵。

一般微生物在 −5 ℃ ~ +80 ℃ 間可成長增殖，30 ℃ 以上時溫度愈高增殖愈顯著，但是微生物之活性以複合細菌比單一細菌較佳，禽畜糞含有多種類微生物，故其發酵效果較佳。

為促進禽畜糞發酵效果，必需要高能量的營養源補給及 pH 值的調整，但禽畜糞於發酵處理時，可不需考慮這些因素的調整，因其本身已具有合適的條件，如要控制發酵溫度，可藉由攪拌、翻堆及送風來控制。

3. 水分

微生物於乾燥狀態時，活性微弱，含水率在 40 % 以下時，微生物的增殖受到抑制。另一方面而言，於禽畜糞堆肥化處理時，好氣性微生物若在於空氣供給充分的狀態下，微生物於高水分狀態也能增殖。

一般將剛排泄時的禽畜糞直接投入處理設施，進行堆肥化發酵處理，因含水率較高，故要進行好氣性發酵處理較難，故為著使排泄時的禽畜糞能快速處理，一般改善禽畜糞含水率增加其通氣性的方法，有預備乾燥、固液分離及添加水分調整材。

為獲得良好的通氣性，則禽畜糞中的孔隙率應在 30 % 以上，禽畜糞於進行好氣性發酵處理時各畜種含水率，經筆者試驗結果顯示，牛豬糞在 60 ~ 70 % ，雞糞 50 ~ 55 % ，一般如以目前本省豬糞經固液分離後，其固形物的含水率在

75～80％，因而其要進行好氣性發酵時，必需將分離後的固形物含水率降低，才能獲得良好的處理效果。由此可知禽畜糞於投入處理設施時，事前調整含水率，是為一項很重要的步驟。

4. 通氣

使好氣性微生物增殖時，氧氣的供給為不可缺的條件，由於微生物的增殖，使禽畜糞中的有機物分解，產生熱能促進禽畜糞的腐熟及水份的蒸發，一般禽畜糞中氧氣之供給方法，可分為翻堆攪拌或強制送風兩種，但是送風量的大小，主要和處理設施與方式有關，禽糞含水率 70％ 以下， 0.1 CMM/M^3 以下， 70％ 以上 0.1～0.15 CMM/M^3，堆積高度 1 m 以上， 0.1 CMM/M^3 以上（檜桓敏光， 1987），但實際設計，送風量的設計是大於上述值，據筆者現場指導的經驗，其送風量的要求，應為堆肥每立方米送風 0.2～0.4 M^3/min（堆積高度 1.2 m），如於設計時，送風量太大，雖然容易使原料的水量蒸發，但由於送風將熱量帶走，反使原料的發酵溫度不容易提昇。

攪拌翻堆是為著增進空氣與原料均勻接觸，供給微生物充足氧氣及促進材料水份蒸發的最好方式，開放型發酵槽專用攪拌翻堆機每日攪拌翻堆 1 - 2 次，密閉型發酵槽每小時翻堆 20 - 40 次/時（1－3 轉/日）（原田靖生， 1987）。

三、堆肥之腐熟度判定

一般堆肥腐熟度之判定方法，可分為利用生物反應判定方法及化學分析判定法。生物反應判定方法是利用蚯蚓及作物種子判

定有害物質之有無。而化學方法之指標是利用堆肥之 C/N 比，BOD 、 COD 及還原糖比率等方法，來進行判斷，但一般腐熟度之判定是利用泛用性判定法，其方法簡介如下：

1. 外觀之評點法。
2. 溫度判定法。
3. 色澤判定法。
4. 手觸法。
5. 蚯蚓法。
6. 發芽試驗法。
7. 幼植物試驗法。

四、結論

堆肥品質的控制，應從生產過程中開始，故生產者應注意原料來源與控制，且應注意生產過程中溫度的變化，才能提供穩定且衛生的堆肥給消費者使用，以達到農業之永續經營。